Gestion et modélisation de l'information en ingénierie concourante : cas des IFC et du GML pour la mise en œuvre de projets urbains et d'infrastructures

C.-E. Tolmer[1,2], C. Castaing[2], Y. Diab[1,3], D. Morand[1]

[1] *Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU), équipe Génie Urbain, Université Paris Est Marne-La-Vallée, Bâtiment Lavoisier, rue Galilée 77 420 Champs-sur-Marne, France (charles-edouard.tolmer@univ-mlv.fr ; youssef.diab@univ-mlv.fr ; denis.morand@univ-mlv.fr)*

[2] *Egis International, Place des frères Montgolfier, 77 286 Guyancourt Cedex, France (charles-edouard.tolmer@egis.fr ; christophe.castaing@egis.fr)*

[3] *Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris (EIVP), Université Paris Est, 80 rue Rébeval, 75 019 Paris, France (youssef.diab@eivp-paris.fr)*

RESUME. *Dans cet article, nous proposons d'analyser les points principaux des deux normes majeures concernant la gestion et le partage des informations dans les projets urbains et d'infrastructures. Nous avons précisé plusieurs termes et concepts autours du travail collaboratif et de l'ingénierie concourante. Notre analyse nous a ensuite permis de lister et comprendre les lacunes, les limites mais aussi les capacités de ces deux normes qui encadrent les IFC et le GML. La synthèse proposée dans cet article met en lumière la différence entre ces deux approches modèle et permettra d'orienter nos futurs travaux autours des niveaux de détail.*

ABSTRACT. This paper analyzes the main points of two principal standards about management and sharing information in urban and infrastructure projects. We first clarify some term about peer production and concurrent engineering. Our analysis was then used to list and understand gaps, limits but also ability of these two standards IFC and GML. Synthesis proposed in this paper highlight the difference between the two models and is going to allow our future works about level of details.

MOTS-CLES. Maquette numérique, IFC, GML, modèle de données, ingénierie concourante, travail collaboratif.

KEY WORDS. Digital Mockup, IFC, GML, data model, concurrent engineering, peer production.

1 Introduction

Dans cet article, nous proposons de dresser un état des lieux de deux des principales normes d'échange de l'information dans les projets urbains et d'infrastructure. Dans un premier temps, il nous est apparu nécessaire de correctement définir le contexte ainsi que les problématiques auxquelles font régulièrement face les acteurs de la construction et de l'aménagement du point de vue de la gestion de l'information. Cette vision globale nous permettra ensuite de comparer ces deux modèles de gestion et de modélisation des données. Il nous sera donc possible d'identifier les qualités ainsi que certaines lacunes de ces modèles afin de proposer des pistes d'amélioration en tenant compte des freins existants au sein de notre secteur.

1.1 Contexte

L'industrie de la construction cherche à intégrer dans sa production des méthodes de travail collaboratives dites d'« ingénierie concourante » ou IC, avec un support numérique commun à tous les acteurs. Malgré ces besoins forts, l'IC s'est développée lentement au sein de notre secteur alors que d'autres industries comme l'aéronautique l'utilisent déjà largement. Cet attrait du secteur de la construction pour l'IC fait suite à plusieurs changements dans la profession comme par exemple la multiplication des marchés de type PPP ou conception-réalisation. L'intégration des problématiques de développement durable et plus particulièrement d'analyse de cycle de vie (ACV) d'un ouvrage, de sa conception à son exploitation voir sa déconstruction imposent également un travail collaboratif avec une pérennité et un échange constant des données. De nombreuses recherches sont engagées dans cette direction comme en témoignent les projets suivants :

- Au niveau national : Communic (projet ANR terminé en 2010) est prolongé par le projet **MINnD**[1] : l'étude de faisabilité a été validée par le ministère du développement durable et l'étude de montage est maintenant en cours.
- Au niveau européen, la directive européenne **INSPIRE** (Infrastructure for Spatial Information in the European Community), élaborée par la Direction générale de l'environnement de la Commission européenne[2], vise à établir en Europe une infrastructure de données géographiques pour assurer l'interopérabilité entre bases de données et faciliter la diffusion, la disponibilité, l'utilisation et la réutilisation de l'information géographique. Elle est la directive en vigueur pour les ouvrages neufs et le sera en 2017 pour les ouvrages déjà en exploitation.

[1] Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables

[2] Présentation d'INSPIRE : http://inspire.ign.fr/directive/presentation ; décembre 2012.

- Au niveau mondial nous retenons les deux principaux organismes : **BuildingSMART**, organisation internationale à but non lucratif qui a mis en place les IFC (Industry Foundation Classes) et l'**OGC**, consortium qui développe et promeut des standards ouverts pour l'interopérabilité des informations géographiques dont le GML (Geography Markup Language).

1.2 Problématique

La modélisation numérique 3D de la ville est aujourd'hui partiellement possible du point de vue informatique. Les difficultés les plus importantes sont ailleurs et concernent principalement la disponibilité, le partage et l'exactitude de l'information d'un point de vue général [HAA 99] et ce, aujourd'hui encore. D'après [ART 07], citant [DEB 98], il existe d'innombrables applications logicielles couvrant tous les aspects de la construction, mais la représentation de l'information suit des formats propriétaires peu capables d'interopérer : tous les acteurs n'ont ni le même langage ni les mêmes objectifs [HAM 12] mais ont besoin de données communes. Aussi, le fait de devoir considérer un niveau de détail très fin nécessite la mise en place d'interfaces et de possibilités de plus en plus ciblées pour répondre aux besoins fonctionnels de chaque corps d'état par exemple [SAC 10]. L'utilisation de plusieurs logiciels, en fonction des acteurs, et leur combinaison provoque indubitablement des pertes de données ou d'objets [GIL ; SAC 10].

Finalement, l'analyse du cycle de vie revient régulièrement dans l'actualité. Bien-sûr cette problématique doit être intégrée dans le modèle conceptuel. Toutefois, le **cycle de vie** que nous devons considérer en priorité est celui **des données** elles-mêmes du projet, qui permettent ensuite de réaliser l'ACV de l'ouvrage proprement dit. Cela justifie en partie la nécessité d'une interopérabilité et de formats d'échange communs, voire mieux, normalisés.

2 Précisions terminologiques

Notre problématique touche à plusieurs termes et concepts, souvent mal définis ou mal compris. Nous en définissons donc certains, omniprésents et incontournables lorsque l'on évoque l'interopérabilité, l'ingénierie concourante et les maquettes ou modèles numériques.

Ingénierie concourante : d'après l'ISO 19101, il s'agit de la « Capacité d'un système ou d'une composante d'un système à permettre un **partage des informations** ainsi qu'un contrôle des **processus coopératifs** ». Concrètement, il s'agit, au travers d'un **modèle numérique de données**, d'arriver au partage des données d'un projet, grâce à des modèles communs, afin de limiter les ressaisies, redondances et pertes d'information. Ainsi, l'IC doit favoriser la réalisation simultanée des tâches.

BIM : avec la multiplication des projets de bâtiment « utilisant » le BIM, sa définition n'en est que plus floue. La signification de cet acronyme varie. Il peut signifier Building Information Modeling pour parler d'un processus de modélisation et production de la maquette numérique ou Building Information Model qui fait simplement référence à la maquette numérique elle-même, qui est le résultat du processus. Le BIM est plus qu'un simple outil. Il traduit en fait un modèle de production appliqué à toutes les phases de réalisation d'un ouvrage [EAS 08]. C'est un processus de conception et de management qui inclut l'ensemble des informations du projet à tout instant et durant tout son cycle de vie [ZEN 07 ; YUN 11]. La partie visuelle du BIM elle, se cristallise dans une **maquette numérique** en trois dimensions.

Une norme est un « Document, établi par consensus et approuvé par un organisme reconnu, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné. »[3]. Il est à noter que le consensus n'implique pas nécessairement l'unanimité. Une norme est en place *de facto* (adoptée par les usagers, l'industrie et/ou un secteur professionnel à cause de leur popularité et de leur part de marché, par exemple le DXF d'AutoCAD®) ou *de jure* c'est-à-dire suite à sa publication par un organisme de normalisation officiel (par exemple le PDF d'Acrobat® [4]).

Standard : la langue anglaise ne marque pas de différence entre norme et standard : « *norme* » se dit *"standard"* en anglais. Par conséquent, on parle de normes lorsque le standard est *de jure* et de simple standard lorsque le standards est *de facto*. Un standard n'a donc pas, en français, de caractère officiel.

3 Deux normes majeures

Un premier travail a consisté à faire le tri dans la multitude de formats et de modèles existants qui permettent en théorie l'interopérabilité et les échanges de données. Nous avons ainsi dégagé trois grandes tendances : les IFC (Industry Foundation Classes), le GML (Geography Markup Language) et le LandXML. Tous trois aspirent à l'interopérabilité des données. Toutefois, seuls les IFC et le GML sont aujourd'hui normalisés : par la norme ISO 16739 pour les IFC 4 et ISO 19136, correspondant au standard OGC[5] GML 3.2.1 publiée en 2007, pour le GML. Le

[3] *Le grand dictionnaire terminologique*. Office québécois de la langue française : http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ ; 2013.

[4] ISO 32000-1:2008 PDF ; publiée par l'ISO le 01/07/2008.

[5] Open Geospatial Consortium : consortium international créé en 1994 et composé de représentants de l'industrie, de gouvernements et du milieu académique. Il comporte sur tous les continents plus de 260 membres dans 31 pays. Son objectif est de développer des normes de facto pour le domaine de la géomatique et des services basés sur la localisation.

LandXML est un format d'échange ouvert supporté par de nombreux outils de CAO et SIG dédiés aux projets d'infrastructures routières [CRE 02]. L'OGC travaille actuellement à son intégration (Réunion OGC à Séoul, décembre 2012). N'étant pas normalisé, son analyse ne correspond pas au champ de cet article. Il fera toutefois l'objet d'un prochain article étant donné sa présence forte et son intérêt grandissant pour le milieu des infrastructures.

3.1 GML

Le GML, est une grammaire du XML[6] pour exprimer des caractéristiques géographiques. Il sert de langage de modélisation pour les systèmes géographiques et de langage ouvert d'échange sur internet pour l'information géographique[7]. Comme avec la plupart des grammaires basées sur le XML, le GML est constitué de deux parties : le schéma qui décrit comment doit être structuré l'intérieur du document et le document qui contient les données réelles. Le schéma conceptuel définit les types d'objets et prévoit les processus de développement des schémas d'application[8]. Un document GML est décrit à l'aide d'un schéma GML : cela permet aux utilisateurs et aux développeurs de décrire des ensembles de données géographiques génériques qui contiennent des points, des lignes et des polygones. Il existe des schémas d'application propres qui sont des extensions spécialisées du GML comme CityGML (voir ci-dessous). Ils doivent permettre aux utilisateurs de visualiser des routes, autoroutes ou ponts plutôt que des points, des lignes et des polygones. L'OGC mets à disposition les documents nécessaires à la lecture et l'écriture des données en GML[9]. A noter que la norme GML est celle retenue pour application de la directive européenne INSPIRE.

CityGML est un modèle de données open-source additionnel au GML et basé sur le format d'échange et de stockage de données XML. Le développement de CityGML a pour but de parvenir à une définition commune des entités de base, des attributs et des relations d'un modèle de ville en 3D dans différents domaines d'application[10]. Le modèle conceptuel de CityGML se base sur les relations et liens entre objets ainsi que sur leurs propriétés spatiales.

---

[6] Extensible Markup Language traduit en français par « langage de balisage extensible ». C'est un langage informatique dit « extensible » car il permet l'ajout à sa base de nouvelles fonctions et objets. L'objectif initial est de faciliter l'échange automatisé de contenus complexes entre systèmes d'informations hétérogènes et donc de favoriser l'interopérabilité.

[7] Site de l'OGC : http://www.opengeospatial.org/standards/gml ; 2013.

[8] OGC Reference Model : http://www.opengis.net/doc/orm/2.1 ; 2011.

[9] http://www.opengeospatial.org/standards/wfs ; 2013.

[10] Site de CityGML : http://www.citygml.org/ ; 2012.

3.2 IFC

La première version IFC 1.0 a été créée en janvier 1997 et couvre les domaines suivants : la conception architecturale, le génie climatique, la maîtrise d'œuvre et la gestion de patrimoine [POY 97]. Nous en sommes maintenant à la version 4, normalisée en mars 2013. Arthaud [ART 07] décrit les IFC de la manière suivante : « Ils représentent une alternative stable, pérenne et normalisée aux formats DXF/DWG qu'utilisent les logiciels commerciaux actuels comme AutoCAD®. Il s'agit d'une approche orientée objets de construction. Elle englobe non seulement les composants tangibles comme les portes, les murs, les ventilateurs, etc. mais aussi les concepts abstraits comme les espaces, l'organisation, les processus, etc.» Ils restent cependant cantonnés à la description des bâtiments, d'où l'extension IFC-Bridge, en cours de rédaction, devant permettre les échanges de données de conception pour les ouvrages d'art.

4 Analyse des normes GML et IFC

Cette partie s'appuie principalement sur deux documents. Le premier, [LIE 04], compare le gml3.0 et les IFC2x(2)[11] mais principalement du point de vue des fonctionnalités, partie formelle, et non pas du point de vue du modèle conceptuel à proprement parler. Le second, l'OGC Reference Model[8], renvoie surtout aux normes ISO concernées. Le modèle conceptuel du GML n'est pas non plus décrit dans ce document. L'intérêt est ici de montrer les possibilités de ces deux formats dans leur contexte d'utilisation. Il ne s'agit pas de réaliser un comparatif *stricto sensu* entre le GML et les IFC, et ce, pour les raisons qui suivent. D'une part, les IFC sont entièrement dédiés à des ouvrages de type bâtiment alors que le GML est plutôt utilisé dans le domaine des infrastructures. De ce fait, l'espace considéré avec les IFC est fini et connu, ce qui peut ne pas être le cas avec des infrastructures linéaires décrite en GML. D'autre part, le GML intègre le géoréférencement, nécessaire à la réalisation et à l'exploitation des infrastructures alors qu'il n'est pas indispensable pour des ouvrages de type bâtiment. Ce sont donc des formats d'échange d'information mais qui n'opèrent pas pour les mêmes d'ouvrages.

Le GML apporte une plus grande flexibilité en ce qui concerne le choix du système de coordonnées : il est possible d'utiliser ou de combiner les systèmes de référence de coordonnées (SRC) suivants : géocentrique, géographique, projeté, ingénieur ou vertical[8]. Toutefois, cette liberté éloigne les utilisateurs d'un standard commun de travail. Dans le monde du bâtiment et des IFC, le SRC classiquement utilisé est le système ingénieur, donc local et national. Il ne permet pas de s'intégrer dans un contexte géographique modélisé. Néanmoins, la dernière version normalisée

[11] Nous avons toutefois tenu compte des versions plus récentes de ces deux normes.

des IFC 4 permet, via une conversion, le géoréférencement des objets dans le système géodésique mondial standard à partir des coordonnées locales.

Ensuite, le GML se rapproche plutôt de formes géométriques à assembler pour créer des objets alors que les IFC comportent généralement des objets existants (objets métier) qui sont d'ailleurs appelés en anglais *product* et non *feature*. Dans les IFC, seuls les éléments principaux existent : il est nécessaire de créer les objets plus complexes ce qui nécessite de bien connaître le modèle de données et la syntaxe de rédaction de ces nouveaux objets. En GML il n'existe pas d'objets « métiers » prédéfinis : ce sont des assemblages d'éléments type point, ligne, polyligne, surface ou solide (voir **Figure 1).**

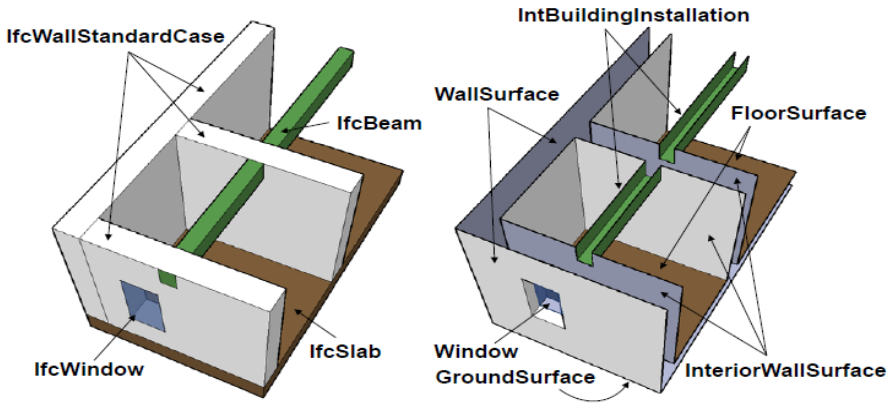

Figure 1 : visualisation d'un exemple en IFC à gauche et en GML (CityGML) à droite ; Source : [NAG].

Concernant la modélisation et la représentation 3D, Devys et Gesquière [DEV 12] comparent les deux standards IFC et GML : d'après eux, ils proposent chacun des capacités similaires pour la géométrie, la topologie et la sémantique mais divergent sur le géoréférencement ainsi que sur la mise en place de textures et la gestion de données liées, tous deux non supportée par les IFC (voir Tableau 1 dans [DEV 12]. Par conséquent, CityGML semble être, pour eux, un excellent candidat permettant la fusion de données terrain 2D et du modèle urbain 3D, ainsi que l'agrégation de modèles métiers [DEV 12]. Ce propos serait à nuancer : sur la **Figure 1**, nous voyons que la modélisation par CityGML ne semble pas permettre la réalisation de l'ouvrage : les éléments tels des poutres ou des voiles n'existent pas en tant que tels. Les objets créés en CityGML sont-ils représentatifs de la continuité des éléments à réaliser ? Est-il possible de se baser sur les objets CityGML pour réaliser des calculs de structure ou bien une planification de chantier ? Même si certaines capacités entre IFC et CityGML sont similaires, leur approche modèle est bien différente : elles seront détaillées dans des travaux à venir.

Finalement, l'évolution dans le temps des objets ne peut être prise en compte avec les IFC alors qu'ils évoluent et se complexifient avec l'avancement du projet : considérer l'évolution du niveau d'information ou « niveau de détail[12] » est pour le moment inexistant dans les IFC. Le GML permet de traiter certaines évolutions temporelles comme l'augmentation du niveau d'un fleuve mais pas au sens de l'avancement de la conception.

Le **Tableau 1** ci-dessous résume l'analyse précédente concernant les formats IFC et GML. Leurs différences proviennent principalement du fait qu'ils ne répondent pas aux mêmes besoins. L'évolution temporelle ainsi que les niveaux de détail ne sont que très partiellement traités par ces deux normes alors qu'ils sont indispensables à la gestion de l'information. Ce sont des points à améliorer dans les prochaines versions des normes.

Format	IFC	GML
Normalisé	oui	oui
Système de projection	système ingénieur et conversions nécessaires pour les autres	variés
Géoréférencement	oui (IFG*)	oui
Géométrie d'objets	objets métiers ("products")	compositions surfaciques
Type d'application	bâtiment	SIG*
Apparence, texture	minimal (+)	suffisant
Evolution temporelle des objets	non (+)	Partielle (*temporal* et *dynamicfeature)*

Tableau 1 : Synthèse de l'analyse. Les (+) indiquent que des améliorations sont en cours d'élaboration ou d'implantation.
***SIG : Système d'Information Géographique ; *IFG : IFC pour SIG**

5 Lacunes et freins aux modèles

Au-delà de la recherche de nouveaux outils et de modèles de gestion de l'information, nous avons constaté que cette méthode de travail d'ingénierie concourante autour d'un modèle numérique commun pose diverses problématiques pour les acteurs d'un projet urbain ou d'infrastructure. En effet, la modification en profondeur des méthodes de travail imposée par le modèle numérique freine encore des acteurs privés à s'engager et à s'investir dans cette branche : le coût direct leur semble trop élevé pour le moment au regard des bénéfices escomptés. L'armoire à plans reste donc l'élément clé et contractuel d'un chantier. Le deuxième frein des industriels du secteur (hors éditeurs de logiciels) apparaît avec la problématique de la propriété intellectuelle des informations partagées : comment mettre à disposition

[12] Voir définition dans [COM 10].

de tous les acteurs un maximum d'informations sans dispenser gratuitement le savoir-faire et les compétences des entreprises ? Ainsi, il nous est apparu que les freins majeurs à la mise en place d'une méthode collaborative de traitement et de modélisation de l'information n'allait pas nécessairement provenir des limites scientifiques ou technologiques mais plutôt de responsabilité dans la gestion et le suivi des modifications du modèle numérique de données.

6 Conclusions et perspectives

Les outils d'échange et de gestion de données existent et sont partiellement opérationnels bien que cantonnées dans des formats propriétaires et non interopérables. Les normes dans ce domaine existent également et sont indispensables : « L'utilisation des normes et standards apporte des solutions à des problèmes d'échange de données dans le cadre de SIG, dans le domaine du bâtiment et/ou de la CAO » [DEV 12].

Les difficultés d'application viennent principalement du fait qu'il manque un modèle conceptuel qui organise la gestion et la modélisation de l'information, pour les projets d'infrastructure, du point de vue relationnel entre les acteurs et entités d'un projet mais également physiquement au travers de systèmes de gestion de bases de données. L'information, partagée et évaluée constamment sur sa qualité et son exactitude, constitue le cœur de l'ingénierie concourante indispensable à nos métiers.

La problématique ici n'était pas de définir l'utilité du GML ou des IFC ou bien de décider de leur remplacement par un nième standard. Nous pouvons maintenant tirer parti des possibilités de chacun de ces formats d'échange afin de proposer tout ou partie d'un modèle conceptuel de gestion et de modélisation de l'information pour les projets urbains et d'infrastructures. Toutefois, nous gardons à l'esprit la diversité des standards, normes, modèles de données, outils mais également organisations qui enrichissent constamment les connaissances : cela rend l'exercice de réflexion plus complexe et nécessite une veille permanente des évolutions et nouveautés.

7 Bibliographie

[COM 10] *Communic, Livrable 1 Modèle Global.* Livrable, Projet ANR-06-RGCU-002.

[ART 07] Arthaud, G. (2007). Apports de modèles de comparaison structurelle et sémantique à la sychronisation de la maquette numérique de construction : application aux ponts. *Thèse de doctorat.*

[CRE 02] Crews, N., Hall, E., & Rebolj, D. (2002). LandXML Schema Version 1.0 Reference. *http://www.LandXML.org maintenant http://www.landxmlproject.org/*.

[DEB 98] Debras, P., Monceyron, J.-L., Bauer, F., Ballesta, P., & Rocca, F.-X. (1998). In Proceedings of the CIB Working Commission W78. Dans *From Product Data Technologies to Applications: illustrative cases in the AEC domain* (pp. 163–170).

[DEV 12] Devys, E., & Gesquière, G. (2012). *Interopérabilité et intégration des données et modèles urbains : standards, normes et tendances pour les SIG*. Modélisation urbaine : de la représentation au projet, Commissariat général au développement durable, Direction de la recherche et de l'innovation.

[EAS 08] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers,Designers, Engineers, and Contractors.

[GIL] Gil, J., Almeida, J., & Pinto Duarte, J. (s.d.). The backbone of a City Information Model (, Implementing a spatial data model for urban design.

[HAA 99] Haala, N., & Brenner, C. (1999). Extraction of buildings and trees in urban environments.

[HAM 12] Hamelin, E., & Razemon, O. (2012). *La tentation du bitume. Où s'arrêtera l'étalement urbain.* Rue De L'echiquier.

[LIE 04] Liebich, T. (2004). *IFG Project Phase 1, Comparison of gml3.0 and IFC2x(2).* Munich, Thatcham.

[NAG] Nagel, C., Stadler, A., & Kolbe, T. H. (s.d.). Conceptual requirements for the automatic reconstruction of building information models frome uninterpreted 3D models. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.

[POY 97] Poyet, P., & Monceyron, J. (1997). *Les classes d'objets IFCs. Finalité et mode d'emploi.* Rapport technique, CSTB.

[SAC 10] Sacks, R., Kaner, I., Eastman, C., & Jeong, Y.-S. (2010). The Rosewood experiment — Building information modeling and interoperability for architectural precast façades.

[YUN 11] Yunting, D., Shinsuke, K., & Kyosuke, H. (2011). Development of an optimal design aid system based on building information modeling.

[ZEN 08] Zeng, X., & Tan, J. (2007). Building information modeling based on intelligent parametric technology. *Front. Archit. Civ. Eng. China*.